

力帰還型仮想環境における協同作業

矢野 博明 岩田 洋夫

筑波大学構造工学系

計算機内に構築した三次元の仮想空間内において、複数の人間が同時に同じ物体を操作することでより創造的な作業をすることができる。ところが同一物体を把持した際に両者の手の位置を拘束することのできないシステムでは、把持された物体に対して特別の処理が必要になる。このようなシステムでは、同時に同じ物体を把持することが出来ないようになっているのが一般的である。著者らは、力覚フィードバックを用いることでこの問題を解決することにした。本研究では、二台のフォースディスプレイを用いて、二人の人間が同時に仮想空間内で作業することのできる力帰還型仮想環境を構築した。そして物体を二人で同時に把持する場合、力帰還型環境の方が効率的な操作ができることを検証している。

Collaboration in Virtual Environment with Force Feedback

Hiroaki Yano Hiroo Iwata

Institute of Engineering Mechanics, University of Tsukuba
Tsukuba, 305 Japan

When two users work in virtual space, they will be able to do more creative work if they can manipulate same object simultaneously. Most of virtual reality system however, have no force feedback mechanism. Unless force is fed back, special efforts are required to manipulate same object simultaneously. In this research, we developed a system that enable two users to work simultaneously in virtual environment with force feedback. The system provides force to bind two user's hand. This function assists teaching task in common virtual environment. Through experiment to deform virtual object with force feedback, effectiveness of force feedback in cooperative work is tested.

1 はじめに

計算機内に仮想の世界を構築し、人間がその中に入り込み様々な作業をすることを可能にする技術を人工現実感という。人工現実感の応用例の一つに車など工業製品の形状を仮想空間内で検討するものが考えられる。一般に、物体の形状を操作し、最終的な形状を決定していくには、一人の人間の意見だけではなく、様々な人の意見を取り入れながら行われていく。一人の人間の視点から検討するだけでなく、複数の人間の視点からも検討することによって、より創造的な設計を行うことができるからである。仮想空間における設計においても、技術者達が仮想空間を共有し、対象物を同時に操作することができれば、より創造的な協同作業が可能となる。ところが、現在の人工現実感では、同時に複数の人間が仮想空間に入り込むものは少ない。その理由としては、現在の一般的な人工現実感システムにおいては、計算機に人間の手の動きを入力する装置として、データグローブを用いていることが挙げられる。データグローブは、人間の手の動きを入力するだけで、仮想空間からのフィードバックがない。従って、仮想物体に触った際に触ったことを認識することが、困難になり、細かい物体の形状を操作するには不向きである。また、複数の人間が、同じ物体を把持する場合、お互いの手の位置を拘束する手段がないので、その取り扱いに特別な工夫を要する。そのため従来のシステムでは、同時に同じ物体を操作することができないようにしてあるが一般的であった。

著者らは、このような問題に対して、入出力装置として、フォースディスプレイと呼ばれる、手の動きを入力するだけでなく、仮想物体に触れたときの反力を提示することのできる入出力装置を用いている。これにより物体の形状操作をより効率的に行うことができることを示し、フォースディスプレイを用いた仮想環境における協同作業の有効性を検証してきた[1]。本研究では、二台のフォースディスプレイを用いて、二人の人間が同時に仮想空間内で作業することのできる力帰還

型仮想環境を構築し、物体を二人で同時に把持した場合にもより効率的な操作をすることができることを検証している。

2 システム構成

本システムは、仮想環境を構築、仮想環境を表示するためのグラフィックスワークステーション、IRIS Indigo2。拡張スカラー型フォースディスプレイ、6自由度9アクチュエータの平行マニピュレータ型フォースディスプレイの2台のフォースディスプレイ、それらの制御するためのPC-386VRから成っている。fig.1。各フォースディスプレイの関節軸にはポテンショメータとモータが取り付けられており、PCによりAD変換されたポテンショメータの値から同次変換によって手先部の座標を求める。任意の反力は、各関節角度から各モータのトルクを計算しPWM方式でモータを駆動している。各フォースディスプレイの最大反力は、拡張スカラー型が300g重、平行型が700g重となっている。

本システムは仮想空間構築システムという著者らが開発したソフトウェア上で実現されており、仮想空間の映像は、IRIS Indigo2上のグラフィックスライブラリGLを用いて作成している。フォースディスプレイの制御は、約50Hz、映像は約30Hzで更新している。

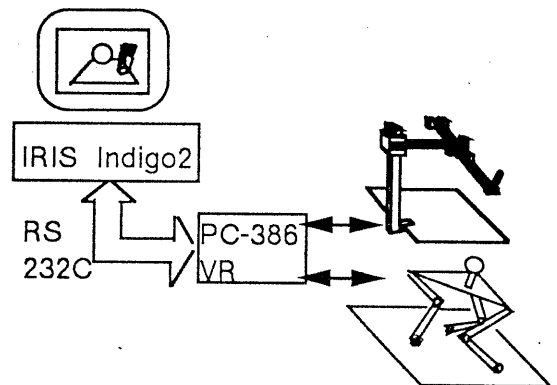


fig.1 システム構成図

3 実験

仮想環境において、二人の人間が共同で仮想物体の形状を議論する場合、例えば、両者でその位置について意見が食い違ったときなどに、同じ点、あるいは物体を把持して同時に動かすことがあり得る。このとき反力提示がないと、相手が把持しているという情報は視覚的なものしかないのので、操作中にお互いの手の相対位置にズレが生じる。ずれた場合にその把持された点、あるいは物体をどのように動かすかが問題となる。例えば、お互いの手の位置の midpoint に把持した点、あるいは物体が位置するように移動するという方法が考えられる。しかし、この方法だとお互いの手が離れると物体が宙に浮いてしまい、不自然で、操作性も悪くなる。このようなときに、お互いの手を近づけるような反力を提示することで、手の距離が離れることが少なくなり、違和感なく操作することができるはずである。

このような仮説の元に実験を行った。実験の内容は、正方形の仮想物体を仮想空間内に配置し、その頂点を二人で把持し、各頂点の真上にある目標位置まで移動させるというものである。ここでは、頂点を把持してからはなすまでの過程を計測しやすい様、頂点を二人で把持するまで移動させることのできないようにしている。この環境の写

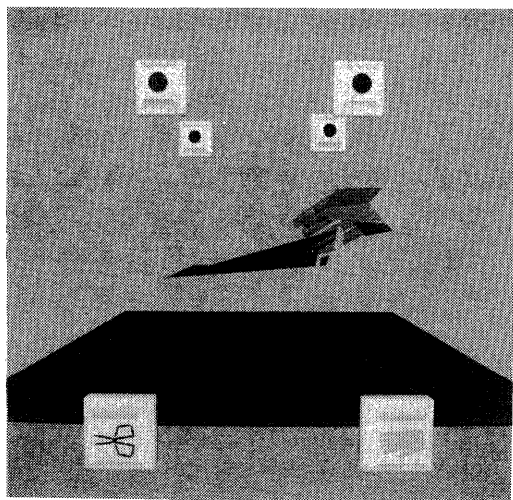


fig.2 実験環境

真をfig.2に示す。被験者同士は同じ視点の仮想空間の映像を見ている。手前に見えるはさみと手の絵のつい手いるボタンは、それぞれのスタート位置である。仮想空間内に操作者の手がハサミ、手の形で示されている。被験者は手の形の違いと、動きを見て自分の手を認識する。仮想空間に正方形の物体が浮かんでいる。反力有りの場合、操作者の手が各頂点に近づくとその点に吸い寄せられる引力を発生させている。これにより把持が可能かどうかを提示している。被験者は、手を各頂点近傍まで移動し、手を閉じる把持動作をする。その後、もう一人の操作者が同じ点を把持する。把持に成功しているかどうかは、把持したときの手の位置と把持される点との距離が一定距離以下かどうかで判定する。二人とも把持に成功するとその頂点が、二人の手の midpoint に移動する。反力有りの場合、点を把持したと同時にお互いの手が引きつけられるような方向に反力が提示される。fig.3. スタートの合図とともに実験を開始し、手前にある2頂点を各頂点の真上に浮かんでいるボタンのある場所まで移動する。計測したデータは、2つの手の座標値及び手の開閉状態、2つの頂点の座標値である。なお、反力なしの状態では、なるべく相手の手の動きにあわせて動くよう被験者に指示している。また、被験者に操作になれてもらうため反力有りと、反力なしの状態で行

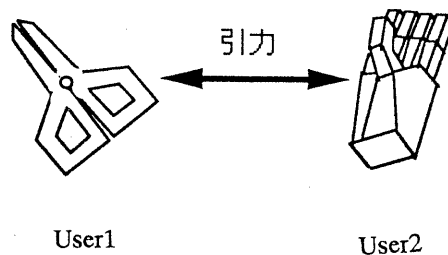


fig.3 把持中に示される反力

1度行っている。実験は、一人の被験者に対して、3回ずつ行った。

4 結果と考察

実験の結果を、fig.4に示す。これは、頂点を二人で把持して目標点まで移動し終わるまでの時間の平均値である。横軸は、反力の有無、縦軸は、移動にかかった時間である。グラフ上の縦線は、標準偏差である。反力有りの方が、タスクの達成時間が短くなっていることがわかる。危険率5パーセントのt検定でも、 $t=5.24$ 、 $T=2.03$ なので、有意差がある。この理由としては、把持したことがわかるのに反力があつた方が把持した瞬間から相手の手の方に吸い寄せられる反力が提示されるので、把持したことを認識しやすいと言うことが挙げられる。また、反力が提示されているとどちらかが動き始めれば、もう片方もそれに引っ張られる形になるので動きが早くなると考えられる。点を把持してから仮想空間内で20cm移動するまでにかかった時間の平均値は、反力有りで0.92secなしで1.44sec。危険率5パーセントのt検定でも、 t 値6.07、 $T=2.03$ なので、両者には差があることから推測できる。

頂点を移動中の、両者の手の距離の平均値を

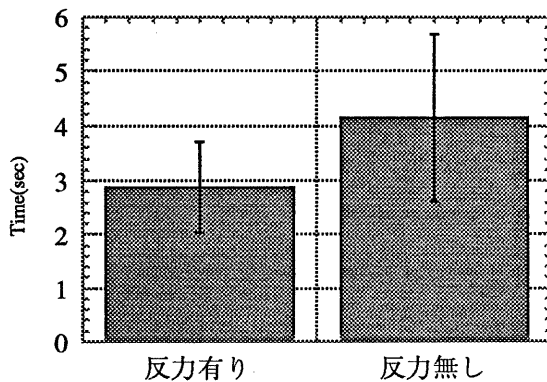


fig.4 把持してから離すまでの平均時間

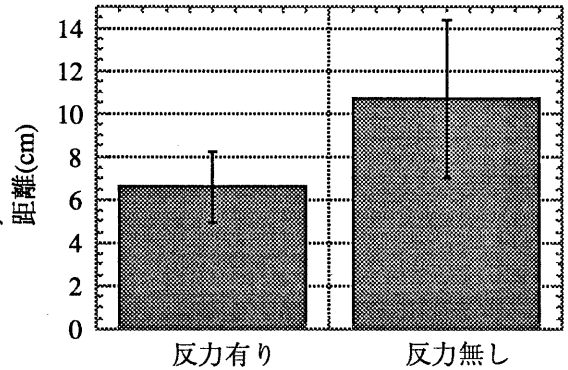


fig.5 把持している間の手の平均距離

fig.5に示す。横軸は反力の有無、縦軸は仮想空間での手の距離、グラフ上の縦線は標準偏差である。手の距離は、反力有りの場合の方が小さくなっている。危険率5パーセントのt検定でも、 t 値6.09、 $T=2.03$ なので、有意差がある。このことから、システムが有効に動作していることがわかる。

5 まとめ

本研究では、二人の人間が同時に同じ仮想空間に参加することができ、フォースディスプレイを用いることで物体からの反力だけでなく、相手からの反力を体感することのできるシステムを開発した。そして、このシステムを用いて、仮想空間内で同じ点を操作する場合に、反力が提示された方がより効率よく操作することができることを検証した。今後の課題としては、能動的に変形する物体を用いて協同作業を行う環境を構築し、それらとの協同作業についての研究を進めていく予定である。

参考文献

[1]矢野,中川,岩田: "フォースディスプレイを用いた仮想空間における協調作業" SIG Note, Vol. 93, No34(1993)